doi：10.12133/j.smartag.SA202205002

科技革命、颠覆性技术与智慧农业

胡瑞法[1,2*]，刘万嘉文[1]

（1. 北京理工大学 管理与经济学院，北京 100081；2. 北京理工大学 长三角研究院（嘉兴），浙江嘉兴 314000）

摘　要：本文首先阐述了科技革命的概念与满足条件，提出并分析了内生及外生农业颠覆性技术及其差异，特别是提出了跨界技术的概念并论证了其对农业科技进步的外生影响。然后分析了作为跨界技术的集大成者——智慧农业技术的特点，智慧农业对传统农业生产技术与生产方式的替代以及智慧农业与农村经济转型的关系。在此基础上讨论了中国智慧农业发展所面临的问题。最后有针对性地提出了促进颠覆性技术创新和智慧农业发展的政策建议，包括加强关键颠覆性核心技术研发、改革现有的农业高等教育体系、推动跨界技术的农业产业化研发以及在高标准农田及规模化养殖场实施智慧农业生产等。

关键词：科技革命；颠覆性技术；跨界技术；智慧农业

中图分类号：S-01　**文献标志码：**A　**文章编号：**SA202205002

1　引　言

20 世纪 90 年代以来，伴随着席卷全球的转基因农作物快速发展及商业化应用，中国一些报刊和政府文件中频繁出现“新的农业科技革命”一词 [1]。然而，人们发现，除了替代原有常规品种的转基因农作物新品种外，颠覆整个农业技术体系或生产方式的“科技革命”并未出现。本文在分析科技革命特征的基础上，就现代智慧农业技术等进行分析，在此基础上提出未来农业科技革命的发展方向，以及中国针对智慧农业技术创新和发展应采用的政策保障。

本文分为四部分。首先概述科技革命概念及满足条件，分别分析农业内生及外生颠覆性技术及其差异，特别是在跨界技术对农业科技进步的外生影响；然后分析了智慧农业技术的特点，智慧农业对传统农业生产技术与生产方式的替代作用以及智慧农业与农村经济转型的关系。在此基础上讨论了中国智慧农业发展所面临的问题。最后有针对性地提出了促进颠覆性技术创新和智慧农业发展的政策建议。

2　农业科技革命、颠覆性技术与科技进步

科技革命是指随着某项关键核心技术的发明与创新，带动了全人类主要领域技术及与之相关的生产与生活方式的全面的、根本性的变革。研究者们将蒸汽机的发明、电力的发现、电子信息技术等关键颠覆性核心技术的发明所引起的技术体系与生产生活方式变化称之为近代史上的三次科技革命 [2]。科技革命必须满足三个条件：一是

收稿日期：2022-05-09

基金项目：国家自然科学基金重点国际合作项目（71661147002）

* 通信作者：胡瑞法（1960—），男，博士，教授，研究方向为农业科技政策。E-mail：ruifa@bit.edu.cn。

关键颠覆性核心技术的直接应用所带来的产业、生产方式或者生活方式的改变；二是伴随该项关键颠覆性核心技术创新的应用，与之相关的系列技术产生替代原有技术的创新，这些全新的技术将成为该产业的主要生产技术或者技术体系的一部分；三是关键颠覆性核心技术的应用使原有的产业技术已无法适应产业生产的需要，必须进行针对这些关键核心技术的全新技术创新以适应产业生产需要。

农业科技革命是指应用于农业生产的关键颠覆性核心技术创新带动生产上所采用的系列技术创新的过程。例如，随着作物矮秆抗倒伏品种的发明与推广，这一关键核心技术带来了机械技术的广泛采用，从而推动了作物生产方式的变化；而伴随着矮秆耐肥品种的广泛种植，使增加化肥施用量以提高作物产量成为可能，从而出现了化肥技术对农家肥技术的替代；同时，随着施肥技术增加和提高作物单位面积产量所采取的增加灌溉等措施，引起了农作物病虫害的增加，为了防治这些病虫害所推动的病虫害防治技术的创新等。

农业科技革命的关键颠覆性核心技术可以是农业内部产生的内生颠覆性技术，也可以是外生的跨界应用的新技术。农业内部产生的内生颠覆性技术是指可以从根本上改变原有技术的技术指标，如生产率的提高等，颠覆原有技术采用的经济或社会必要性，并彻底替代原有技术的技术。外生应用的跨界技术（Transboundary Technology）是指原始发明与创新均为应用于非农业领域、具有完全与农业产业用途无关的技术。

农业内部产生的内生颠覆性技术是对某项原有关键生产技术的替代，是原有生产体系发展推动产生的革命性技术。例如前文提到的矮秆品种技术，便是在当时中国等国家土壤肥力持续增长、传统农家品种由于不抗倒伏（高秆）而限制作物产量潜力的发挥的情况下，农业内部诱导产生的内生颠覆性技术[3]。该项技术的采用带动了机械、化肥、农药等技术的发展、更新以及生产方式的改变。内生推动的关键颠覆性核心技术不一定属于科技革命核心技术。例如，上世纪90年代开始商业化种植的转基因作物品种技术，则是农业内部为了解决病虫害防治问题而诱导产生的技术，拥有替代其他品种技术的潜力，但由于该技术并未从根本上改变原有的技术体系或生产方式，因此属于单项颠覆性技术，并属于非科技革命关键核心技术。

与内生的颠覆性技术不同，跨界应用的关键颠覆性核心技术来自非农业领域。在农业生产中引入该项技术后，由于其有突破性提高农业生产效率的特征，从而推动原有技术与技术体系的更新，甚至改变原有生产方式或生活方式。由于这类技术来自非农业领域，因此其跨界引入所引起的原有农业技术及技术体系的变化是外生推动的，即所推动的科技革命为外生的。例如，随着智能传感器技术的发展及其在农业生产中的应用，其将从根本上改变农业生产上靠经验及肉眼观察从事农业操作的生产方式，相应地推动灌溉、施肥、收获技术的智能化改造与农业生产的工厂化操作。这种跨界技术在农业上的应用完全是外生推动的科技革命。值得关注的是，跨界应用的外生技术也可能是单项的非科技革命关键核心技术。例如，塑料薄膜技术在农业上的应用显著增长了农作物的产量，并为设施农业的发展提供了可能性。然而这项跨界技术是单项的，并未推动整个农作物生产技术或技术体系的创新。因此，该技术属于跨界应用的单项非科技革命关键核心技术。

需要指出的是，内生产生与外生跨界应用的农业新技术（包括颠覆性技术与单项技术）对农业科技进步的推动作用存在着差异。其中内生推动产生的技术发明与创新是通过对农业内部的长期观察，发现并针对影响生产发展的问题开展系统研究，这些技术研发从一开始便拥有明确的技术创新目标，技术创新应用所推动的农业科技进步具有显明可预期的内生特征。而外部引入的跨界技术，由于其发明与创新为非农业内部，其对

农业生产的作用也是引入农业生产前农业专业领域未能考虑的，因此其引入后所带来的农业科技进步具有显明的外生（非预期）推动特征。

3 智慧农业与科技革命

作为跨界技术的集大成者，智慧农业技术将是推动新一轮科技与产业革命及农村转型的关键颠覆性核心技术。智慧农业是指将物联网技术运用到传统农业生产中，运用传感器和软件通过移动平台或者电脑平台对农业生产进行控制，使传统农业更具有“智慧”[4,5]，是以智能传感器为核心的通过移动网络平台链接的跨界农业应用技术或技术体系[6]。智能传感器将对动植物生长及其环境的感知与认知通过互联网传递给后台信息处理系统，该系统根据相关的科学参数自动得出相关的农事操作指令，并“指挥”农作物的田间管理活动（如灌溉、施肥等）或者动物的饲喂及环境控制，实现农业生产全过程的自动化作业。

智慧农业技术可以解决传统农业凭经验进行农业生产的问题。传统的农业生产绝大多数是农民凭经验确定动植物的生长现状，并以此为依据开展农事操作的农业生产活动。例如，农作物生产自耕地施肥开始，到田间管理（包括病虫害防治）及收获整个过程；动物养殖业生产每天的饲喂及病害预防等，主要凭农民的经验或者肉眼观察，很少通过仪器进行精准测量或监测。这种凭借人的经验进行的生产活动，需要劳动力持续不断地实地观察，由于不同“观察者”知识与能力存在差异，使得观察结果也存在差异，从而导致依据这些观察所采用的农事操作并非是实现产量或者利润最大化的技术措施。智慧农业技术通过对动植物生长状况及生产环境的精准感知，实现替代人工观察与经验的科学精准数据，从根本上解决凭经验进行农事操作的问题，真正实现农业生产的科学化。

智慧农业技术将从根本上改变传统农业的生产方式，实现工厂化生产。智慧农业生产主要依靠传感技术，通过科学仪器对农业生产与环境的感知及基于科学建立的后台数据分析系统，实现对农事活动的自动化管理。在此背景下，农业生产将实现基于智能机械技术的现代工厂化生产，彻底改变传统的农业生产方式。

未来动植物新品种及其相关技术的发展与智慧农业技术的发展也将互为适应。作为最基本的农业生产资料的优良品种，在智慧农业发展的条件下，为适应相关生产操作的需要，其育种目标也会朝着智慧农业发展的方向发展。例如，适应智慧传感器认知与感知的动植物性状及其标准，适应智慧机械与农事操作的动植物品种生长与繁育进程及标准等。与此同时，随着优良品种育种技术的发展与进步，智慧农业技术也将朝着更精准地感知新的优良品种特征方向发展，并以此提高农业生产的产量潜力及效率。

智慧农业也将推动农村发生革命性转型。在实现工厂化生产的条件下，从事智慧农业生产的农民的农业生产活动将变成对农业生产相关的机械与智能控制操作，日常工作（生产活动）将与工人一样变成流水线某个环节的岗位工作，形成工人农民职业劳动强度的无差异化。在此条件下，实现农村与城市的真正融合，完成农村经济的革命性转型。

4 中国智慧农业发展及所面临的问题

智慧农业将推动新一轮的农业科技革命。为迎接这场科技变革，西方国家已开始制定一系列科技政策[5]。美国、欧洲和日本等国家和地区抓住数字革命的机遇，纷纷出台了“Big Data Research and Development Initiative（大数据研究和发展计划）”“A UK Strategy for Agricultural Technology（农业技术战略）”和“Agriculture 4.0（农业发展4.0框架）”，试图将现代信息技术广泛应用于整个农业，用数字技术武装农业[5]。然而，国际上多数国家是以数字农业的名称提出未来发展规划的。这一表述上的差异决定了发展方向与路径上的区别。数字农业注重农业

生产与流通全产业链的数字化改造，注重以信息技术改造农业，强调农业全产业链的生产及流通管理。智慧农业则强调农业生产过程的技术更新，尤其是产中领域替代人工技术的智慧化改造。

中国是第一个开发出绿色革命技术的国家[7,8]，更是将现代信息等革命性技术在农业中实践的先行者之一。早在上世纪50年代末，中国就首次在全球培育出第一个并且大面积应用于生产的绿色革命品种“矮脚南特”，并于70年代首次实现杂交水稻三系配套[8]。这些技术不仅提升了中国水稻生产率，改变了农业生产方式[9,10]，也引领了全球农业生产，尤其是水稻生产技术的进步。值得一提的是，随着以信息技术为主的跨界技术在农业中的应用，中国也成为全球农业科技革命的先行者，再次引领世界新一轮的农业科技革命。例如，首创于西方发达国家的无人机技术在中国被更广泛地应用于病虫害防治等农业生产；美国首先研发的智能手机线上交易技术（移动电子商务）在中国得到进一步发展后，使中国成为世界上农产品与食品线上销售最广泛的国家，并进而改变农业生产与经营方式。

需要特别指出的是，以智能传感器为核心的智慧农业相关技术已经成熟，部分技术已被西方发达国家广泛采用。以美国为例，在采用现代转基因品种技术的同时，利用卫星遥感技术，实现针对不同品种栽培管理的要求，为农户提供从耕地、施肥、病虫害监测与防治到收获的全过程技术服务与实时生产解决方案；在养殖业生产上，除了规模化养殖外，已实现养殖场温湿度及环境的全自动化管理。然而，上述技术仅部分实现了智能化应用。

中国基于人工智能技术的智慧农业技术应用仅处于起步阶段。现阶段，中国已实现了农用无人机防治病虫害的大规模产业化应用，一些企业开始在高端水果生产以及畜牧业和水产业的养殖中应用传感技术，少数企业甚至开始利用传感技术开展高端无土及设施农业生产。上述智慧农业技术生产应用均显示出良好的经济与社会效益，表现出极大的生产应用潜力。然而，基于人工智能技术的智慧农业技术应用仍处于探索阶段。

智慧农业技术不仅是未来农业生产的发展方向，也将是中国农业发展的必然趋势。随着现代科学技术的发展，智能传感技术已非常成熟，未来将成为替代劳动力的“便宜”技术。例如，现代传感器技术可实现对土壤养分、水分及环境等的实时监测，相关元器件非常便宜；现代卫星遥感技术可实时监测土壤的养分与水分含量，实时监测病虫害的发生程度，并以此为依据采用现代化人工智能机械进行管理等。随着人口老龄化的加剧，智慧农业技术将是中国替代农业劳动力、实现农业现代化的必然选择。

值得关注的是，作为跨界技术的农业应用，以智能传感技术为核心的智慧农业技术并未像农业机械技术革命、化学技术革命和绿色革命技术一样由农业科学家主导参与技术的研发。据我们调查，到目前为止，在中国由农业技术领域科研人员参与的智慧农业核心技术研发很少，现有的人工智能技术装备均由非农业专业领域科研人员研发。事实上，中国目前的农业教育与研发体系缺乏与智慧农业发展相适应的机构与人力。绝大多数农业院校为传统农业专业，较少专业人员的研究课题、研究方向与智慧农业技术应用相关。现有的从事农业遥感研究的高校及科研机构团队，也多是从事资源考察研究，相关的高等教育及专业人士培养更是空白。与此同时，从事遥感与人工智能研究的工科院校及科研机构，则缺乏相应的农业专业人才，跨界技术农业应用紧密融合的研究体系尚未形成。

5　政策建议

根据中国颠覆性技术与中国智慧农业技术发展的现状与存在问题，在此提出加强关键颠覆性核心技术研发、农业高等教育体系改革、跨界技术的农业产业化研发以及智慧农业生产标准化、规模化等政策建议。

（1）加强关键颠覆性核心技术研发，抢占国际制高点。从目前国际农业科技发展的动态看，未来有可能引起新一轮农业科技革命的领域，包括贯穿整个农业生产环节的智慧农业技术及生物技术。在智慧农业技术领域，中国已拥有并掌握智慧农业应用的绝大多数核心元器件等技术，目前缺乏相关的农业专用设备，未来农用智能传感技术、农用遥感技术模块的开发是智慧农业技术研究的重点。在生物技术领域，中国的转基因技术研发处于世界第一梯队[11]；在基因编辑技术方面，虽然中国未掌握CRISPR/Cas9的关键核心技术专利，但也拥有类似可进行基因编辑操作的类似技术；而在未来有可能引起新一轮农业科技革命的生物合成等领域的关键核心技术，相关的研究则与世界同步。为此，这些领域的持续的政府与企业研发投入，是中国抢占国际制高点、实现弯道超车的基本保障。

（2）改革现有的农业高等教育体系，培育智慧农业技术人才。上述跨界技术较少地被应用于农业，与从事这些技术研发的科研单位与企业较少地了解与关注农业，且农业科研人员缺乏相应的知识有关。为此，采取有效措施、培养智慧农业技术应用的技术与产业专业人才是当务之急。建议从三个方面展开：一是在引进人才的基础上，在农业高等院校及相关院校整合相关专业的师资队伍，开设智慧农业专业，培养直接参与智慧农业生产与产业或者提供技术服务的专业人才；二是在传统的农学类专业增开智慧农业应用课程，改造传统专业教学内容，拓展智慧农业应用及其生产表现的知识；三是对基层农业专业技术人员开展智慧农业技术培训，使其拥有使用和为农民及相关企业提供智慧农业技术服务的基本能力。

（3）推进农业科研单位改革，推动跨界技术的农业产业化研发与快速应用。智慧农业技术是典型的跨界技术农业应用技术。现有研发单位与企业中，不仅从事传感器及信息技术开发的单位缺乏相关技术在农业生产上应用的知识，从事农业技术研发的专业人员则缺乏在哪个农业生产环节可应用更先进跨界技术替代的知识。因此，基于目前农业技术专业与元器件技术专业分离的现状，整合从事这两个专业的科研人才，开展智慧农业专业技术的研发，同时鼓励相关企业吸引拥有农业元器件及农业专业背景的人才开展相关的技术开发，是未来农业科研单位改革的方向。

（4）按照先易后难原则，率先在已经建成高标准农田及规模化养殖场实施智慧农业生产，并在取得经验的基础上在全国推广。据调查，除已大规模应用的农用无人机外，中国在可用于智慧农业的土壤与作物传感器、遥感、病虫识别与监测、家畜生物识别、机械化农场网络、农产品追溯系统等核心领域均有成熟的技术，通过有针对性研发农用装备，便可在农业生产上应用。而用于农业生产的温湿度传感器成本仅相当于单位面积农业机械当年投入的10%左右，这些技术的农业化应用将节省相应生产环节成本的80%左右，且这些投入属于固定资产，可重复施用。事实上，目前中国完全可以在生产条件较好的农田及规模化畜牧养殖场率先开展智慧农业生产试验示范并实施。例如，自2009年开始，中国政府花较大的投资用于高标准农田建设，这些农田已建成了较为完备的农田灌溉系统等设备，稍加改造便可采用智能灌溉、智能施肥及智慧病虫害防治等技术生产。而标准化程度较高的规模化畜牧和水产养殖场也具备可用于健康养殖的传感器技术优先应用的条件。

参考文献：

[1] 人民日报:加快推进农业科技创新 实现持续发展 [EB/OL]. [2022-05-10] http://www. gov. cn/jrzg/2011-12/29/content_2032573.htm.

[2] 张冰, 王冬. 农业科技革命与农业生产发展研究[J]. 首都师范大学学报: 自然科学版, 2013, 34(5): 35-39, 42.
ZHANG B, WANG D. Revolution of agricultural science and technology and agricultural production development research[J]. Journal of Capital Normal University (Natural Science Edition), 2013, 34 (5): 35-39, 42.

[3] HAYAMI Y, RUTTAN V W. Agricultural develop-

ment: An international perspective[M]. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1971.

[4] TZOUNIS A, KATSOULAS N, BARTZANAS T, et al. Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges[J]. Biosystems Engineering, 2017, 164: 31-48.

[5] 赵春江. 智慧农业发展现状及战略目标研究[J]. 智慧农业, 2019, 1(1): 1-7.
ZHAO C. State-of-the-art and recommended developmental strategic objectivs of smart agriculture[J]. Smart Agriculture, 2019, 1(1): 1-7.

[6] RUIZ-GARCIA L, LUNADEI L, BARREIRO P, et al. A review of wireless sensor technologies and applications in agriculture and food industry: State of the art and current trends[J]. Sensors, 2009, 9(6): 4728-4750.

[7] GOLLIN D, MORRIS M, BYERLEE D. Technology adoption in intensive Post-Green Revolution systems[J]. American Journal of Agricultural Economics, 2005, 87 (5): 1310-1316.

[8] 林世成, 闵绍楷. 中国水稻品种及其系谱[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1991.

[9] HUANG J, ROZELLE S. Technological change: Rediscovering the engine of productivity growth in China's rural economy[J]. Journal of Development Economics, 1996, 49 (2): 337-369.

[10] 黄季焜, 胡瑞法. 农业科技革命: 过去和未来[J]. 农业技术经济, 1998, (3): 1-10, 49.

[11] 王双双, 封勇丽, 马彩云, 等. 中国转基因技术研发的国际竞争力[J]. 中国农业科技导报, 2015, 17(6): 15-20.
WANG S, FENG Y, MA C, et al. International competitive ability of China in transgenic technology research and development[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2015, 17(6): 15-20.

Technological Revolution, Disruptive Technology and Smart Agriculture

HU Ruifa[1,2*], LIU Wanjiawen[1]

(1. *School of Management and Economics*, *Beijing Institute of Technology*, *Beijing* 100081, *China*;
2. *Yangtze River Delta Research Institute*, *Beijing Institute of Technology*, *Jiaxing*, *Zhejiang* 314000, *China*)

Abstract: This paper describes the concept and basic satisfaction of scientific and technological revolution, defines the endogenous and exogenous agricultural disruptive technology. Particularly the paper puts forwards the concept of the transboundary technology and demonstrates its endogenous application and impacts on the development of agricultural industry. Focusing on smart agriculture and the typical transboundary technology, the paper analyzes the characteristics of the technology, investigates its impacts on the traditional agricultural production and rural transformation. The paper also examines the institution arrangement that affects the development of smart agriculture in China. The policy recommendation to strength key disruptive technology development, to reform agricultural higher education system, promote the agricultural industry development of the transboundary technology, and push the application of smart agriculture technology to be implemented in high standard farmland and large-scale farms of agricultural production, etc.

Key words: technology revolution; disruptive technology; transboundary technology; smart agriculture